

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА КАРТОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ

Отчет за проведение работ  
батиметрического отдела экспедиции НИС «Полярштерн»  
от Института полярных и морских исследований им. А.Вегенера  
в западный сектор Антарктики, юг Тихого океана  
(моря Беллинсгаузена, Амундсена)

Выполнила:  
участник рейса, аспирант II года обучения  
Леменкова П.А.

Москва - 2006

## **СОДЕРЖАНИЕ**

**Глава 1. Картографирование рельефа морского дна: современное состояние и проблемы**

**Глава 2. Цель исследования**

**Глава 3. Региональная характеристика района: особенности рельефа дна морей Амундсена и Беллинсгаузена**

3.1. Море Амундсена

3.2. Море Беллинсгаузена

**Глава 4. Оборудование судна: технические характеристики и программное обеспечение**

4.1. Сонарная система эхолотирования Hydrosweep DS System

4.2. Программа обработки батиметрических данных Caris HIPS

**Глава 5. Методология и технологическая цепочка работ**

5.1. Hydrosweep DS

5.2. Caris Hips

5.3. GMT (Generic Mapping Tool)

5.4. Arc GIS

**Глава 6. Результаты съемки**

6.1. О. Петра I

6.2. Безымянный хребет

6.3. Подводные горы Жерлаша (Герлаша)

6.4. Батиметрическая съемка в бухте моря Амундсена

6.5. Ледниковое протяжение к востоку от ледника Аббота

6.6. Желоб на подводном береговом склоне у ледника Гетц

6.7. О.Пайн (Pine Island)

6.8. Подводные горы Мэри Бёрд (Marie Byrd)

6.9. Гора Хьюберта Миллера

6.10. Глубокий морской канал в море Амундсена

6.11. Остров Короля Георга

**Заключение**

## **Глава 1. Картографирование рельефа морского дна: современное состояние и проблемы**

Развитие океанов до их современной формы, простираения и глубины находится в тесной взаимосвязи с возникновением континентов и, собственно, всей литосферы. Детальные знания о форме океана и о процессах, проходящих в нем, используют для прогнозирования и интерпретации новых тектонических процессов (как, например, развитие срединноокеанического хребта) и разломы в океанической коре в связи с возникновением новой (т.н. sea-floor-spreading).

Анализ морфологии морского дна и его расчленение на отдельные сегменты плит, а также максимально подробный тектонически активных областей – главные задачи батиметрических измерений. Весьма важной частью работ (особенно в полностью покрытых льдом районах океана) является использование спутниковой альтиметрии, благодаря которому, с использованием также моделей глубинных плотностей обеспечивает косвенное определение морфологических форм объектов. Границы тектонических плит отчетливо опознаются на данных спутниковой альтиметрии.

Батиметрия вносит существенный вклад в интерпретацию движений литосферных плит, причем особенно высокоточные сонарные измерения в ключевых тектонических регионах, например, в области границ литосферных плит и обеспечивает детальной информацией о глубинах и рельефе дна. Быстрое развитие спутниковой геодезии, которое за прошедшие 20 лет достигло многочисленных технических новшеств, вместе с исследованиями геосистемы Антарктики привели к качественному улучшению съемки дна, обеспечивая возможность новой серии исследований морских экосистем Антарктики на более высоком и точном уровне измерений.

Благодаря использованию GPS- приемников в измерениях могут быть зафиксированы с большой точностью последние изменения в опорных пунктах геодезических сетей на поверхности Земли. Такие тектонические процессы в верхней части земной коры могут быть адекватно объяснены лишь с помощью детального изучения батиметрии морского дна, тщательных геофизических наблюдений и измерения постепенных движений опорных пунктов геодезической сети. Развитие океанов до их современной формы, простираения и глубины находится в тесной взаимосвязи с возникновением континентов и, собственно, всей литосферы. Детальные знания о форме океана и о процессах, проходящих в нем, используются для прогнозирования и интерпретации новых тектонических процессов (как, например, развитие срединноокеанических хребтов в океанах) и разломы в океанической коре в связи с возникновением новой коры (т.н. sea-floor spreading).

Измерение рельефа морского дна с помощью современных приборов (ультразвуковой гидролокатор) облегчает точное позиционирование и навигацию судна. Морское дно является важным объектом изучения при картографировании морей, будучи граничной поверхностью между океанической литосферой и гидросферой, на которой происходят процессы физических, химических и биологических взаимодействий. Исключительная значимость морского дна обусловлена, прежде всего, его структурой и морфологией, которые непосредственно влияют на направления потоков вещества и переноса осадков. Структура и морфология морского дна непосредственно влияют на направления потоков вещества и переноса осадков.

Как известно, главной проблемой в изучении морского дна, его морфологии и

структуры (учитывая его исключительную роль, которую оно играет, будучи пограничной поверхностью гидросферы), является невозможность его непосредственного исследования и полная закрытость для визуального изучения, что определяет в качестве методов его изучения использование исключительно оптических, электромагнитных и гидроакустических приборов, а также лазерной техники, традиционно очень дорогих. В результате, формы и структуры морского дна оказываются менее изученными, чем обратная сторона Луны, что сказывается в постоянной нехватке точной информации о глубинах океанов и, как следствие, точных актуальных батиметрических карт океанов.

Анализ морфологии морского дна и его расчленения на отдельные сегменты плит, максимально подробное изучение тектонически активных областей морского дна – главные задачи батиметрических измерений. Важной их частью, особенно в полностью покрытых льдом районах океана, является использование спутниковой альтиметрии, с использованием которой можно определять морфологические формы объектов и отчетливо опознавать границы тектонических плит. Проведение батиметрической съемки с использованием высокоточных сонарных измерений на основе современных приборов (ультразвуковой гидролокатор) обеспечивает детальной информацией о глубинах и рельефе дна океанов, облегчает точное позиционирование и навигацию судна и вносит существенный вклад в изучение интерпретаций движений литосферных плит. Последнее особенно важно для ключевых тектонических регионов в области границ литосферных плит.

Измерение рельефа морского дна пережило новую эпоху с применением GPS – приемников за последние 10 лет, которое почти в 10 раз увеличило точность измерений (до 50 м) по сравнению с используемым ранее методом навигации счислением пути, при котором нормальными были погрешности позиционирования вплоть до 500 м. Точные измерения глубин также являются основой для создания моделей поверхности морского дна. Морфология ложа океана, рассчитанная по батиметрическим моделям, дает информацию о геологических процессах, происходящих на поверхности Земли.

Таким образом, очевидно, что периодическое обновление информации о глубинах океанического дна, получение на ее основе исправленных, скорректированных данных о рельефе дна и построение карт рельефа морского дна в конечном итоге является крайне актуальной научной задачей.

## **Глава 2. Цель исследования**

Основной целью отдела батиметрии экспедиционного состава было проведение мультиспектральной съемки высокого разрешения рельефа морского дна на продолжении пути следования судна, картировать точки отбора проб геологического материала, интерпретировать гравиметрические измерения и расширить мировой банк данных морского картографирования (в частности, обновив данные о рельефе дна для международной карты GEBCO). В технические задачи отдела батиметрии экспедиционного состава входили следующие обязанности:

- проведение мультиспектральной съемки высокого разрешения рельефа морского дна на продолжении пути следования судна для получения обновленной информации о рельефе дна океана
- обработка отснятых измерений для устранения погрешностей и неточностей автоматической съемки эхолотом
- составление обновленных карт рельефа дна на акватории морей Амундсена и

Беллинсгаузена на основе обработанных измерений

- картографирование точек отбора проб геологического и биологического материала,
- сохранение и запись всей полученной информации для расширения мирового банка данных рельефа дна (для постоянного периодического обновления международной карты GEBCO) в установленных форматах

### **Глава 3. Региональная характеристика района: особенности рельефа дна морей Амундсена и Беллинсгаузена**

Прежде всего, следует отметить главную особенность в исследовании морей Амундсена и Беллинсгаузена и актуальность поставленной цели - съемка рельефа дна и проведение геологических работ в районе исследования. Дело в том, что шельф морей Амундсена и Беллинсгаузена, а также значительная часть акватории практически постоянно закрыты паковым льдом, и по этой причине совершенно не исследованы с достаточной точностью. Поэтому экспедиция в эти районы с целью проведения съемочных работ и обновления данных о регионе, особенно в свете проблем глобального картографирования океанов, являлась крайне актуальной научной задачей в области полярных исследований.

#### **3.1. Море Амундсена**

Море Амундсена расположено между 100 и 123 ° з. д в Южном океане у берегов Антарктиды. Площадь моря — 98 тыс. км., глубина достигает до 585 м. и практически на большей его части покрыто паковыми льдами. Ограниченное на западе Землей Мэри Бёрд и мысом Дарт, островом Тарстон на востоке, оно граничит с морями Росса и Беллинсгаузена. Название получено в честь норвежского полярного исследователя Руаля Амундсена. В море Амундсена проходила основная, большая часть всех выполненных работ экспедиции.

Континентальный склон западной части моря Амундсена имеет сложный рельеф: по диагонали к направлению общего простирания его пересекают ориентированные в северо-западном направлении ряд подводных хребтов, которые носят общее название хребтов Амундсена.

Наиболее крупным из них является массив Мэри Бёрд. Его плоская вершинная поверхность лежит на глубинах порядка 500-1000м (минимальная глубина 511м), достигает 3000-3500м, так что высота склона над окружающей поверхностью достигает 2500-3000м. Вершины других массивов поднимаются над склоном до глубин 930-1431м. Ряд крупных подводных каньонов прорезают поверхность склона.

Подножие крутого уступа верхней части континентального склона в районе моря Амундсена оконтуривается изобатой 4000м. Ниже склон выполаживается и образует пологий переход к ложу океана. Это аккумулятивный шлейф континента, который здесь имеет очень большую ширину. По различию в наклоне поверхности этот шлейф делят на три ступени: верхнюю, шириной не более 100 км и с относительно ровной поверхностью, среднюю шириной 100-200 км, расчлененную многочисленными каналами суспензионных потоков, их прирусловыми валами шириной 4-20 км и дюнами шириной около 1 км, и нижнюю, очень пологую имеющую округлые очертания конусов выноса (конус выноса Амундсена), пересекаемых редкими руслами суспензионных потоков.

Мощность аккумулятивных отложений континентального подножия Антарктиды. Выступ побережья Антарктиды сопровождается сложно расчлененным шельфом

сравнительно небольшой ширины с глубинами порядка 500м. Для рельефа шельфа Антарктиды характерно наличие более выровненной внешней части, в то время как внутренняя часть обладает сложным, бугристым рельефом. Это объясняется тем, что внешняя, более поднятая часть шельфа в большей степени подвергалась абразионно-аккумулятивному выравниванию в периоды более низкого стояния уровня океана. Сейчас шельф Антарктиды представляет собой пологоволнистую аккумулятивную равнину с отдельными моренными грядами.

Внутренняя часть шельфа сохраняет раздробленный, тектонически обусловленный рельеф, осложненный обработкой покровного ледника в периоды максимального покровного оледенения. Подводная часть материка здесь представлена морем Амундсена, дно которого представляет собой глубокий шельф или подводное плато с сильно расчлененным континентальным склоном, осложненным подводными горами и каньонами. На глубине около 4000 м. Склон выполаживается и переходит в днище котловины. Эта часть котловины представляет собой аккумулятивный шлейф мощностью до 3000м.

### **3.2. Море Беллинсгаузена**

Море Беллинсгаузена - окраинное море Южного океана у берегов Антарктиды, между полуостровами Антарктическим и Терстон. 487 тыс.км<sup>2</sup>. Глубина до 4115 м. Соленость 33,5‰. Крупные острова - Петра I и Земля Александра I. Большую часть года покрыто плавучими льдами и айсбергами.

Расположенное восточнее, шельфовое море Беллинсгаузена сходно по морфологии с морем Амундсена, от которого оно отделено выступом Земли Элсуэрта. Ширина шельфа здесь достигает 550км, бровка его находится на глубине около 500м. Вблизи основания склона находится вулканический о.Петра1, сложенный щелочными базальтами и трахиандезитами гавайского типа, возраст которых достигает 12 млн.лет и окруженный аккумулятивным шлейфом верхней части континентального подножия. Континентальное подножие здесь очень широкое – достигает 400-500 км и прорезано многочисленными руслами суспензионных потоков. Континентальный склон на глубине 3000 м выполаживается и переходит в аккумулятивный шлейф, прорезанный подводными каньонами и осложненный крупным конусом выноса Беллинсгаузена. Восточный берег моря Беллинсгаузена образован Антарктическим полуостровом, являющейся островодужной системой.

Волнистая поверхность дна и осадочные дюны, выявленные сейсмическим профилированием, на поверхности континентального подножия Антарктиды, свидетельствуют о возникновении здесь контурных течений как следствие возникновения сплошного кольца океана возле Антарктиды. Это служит подтверждением предположения о недавнем разрушении континентального моста между Южной Америкой и Антарктидой.

Морфологической границей между материком и океаном служит подошва континентального склона, фиксирующая смену геофизических типов коры.

## **Глава 4. Оборудование судна: технические характеристики и программное обеспечение**

НИС «Полярштерн» был долгое время оборудован ультразвуковым гидролокатором Hydrosweep DS-2, разработанным в ФРГ в 1989г., после чего в дополнение был установлен также американский сонар Seabeam. Seabeam был первым сонаром, который было разрешено

использовать в мирных целях. Hydrosweep DS-2 обеспечивает наряду с измерением глубин морск

В настоящее время НИС «Полярштерн» оснащено современным глубоководным акустическим комплексом, в состав которого входят ультразвуковой гидролокатор Hydrosweep DS-2, разработанный в ФРГ в 1989г., американский сонар Seabeam. Seabeam (первый сонар, который было разрешено использовать в мирных целях), многолучевой эхолот Atlas Hydrosweep DS-2 глубоководный профилограф Atlas Parasound DS-2.

Комплекс имеет режим работы гидролокатора бокового обзора и снабжен математическим обеспечением для полной обработки получаемых данных с представлением их в виде подробных батиметрических карт, трехмерных изображений дна и документирования информации.

Помимо стандартных измерений топографии морского дна, с использованием Hydrosweep DS-2 возможно также ряд других измерений (сонар бокового обзора позволяет зафиксировать мелкомасштабные структуры поверхности в пределах допустимого разрешения глубинных измерений и провести их последующий геоморфологический анализ).

Важнейшей предпосылкой для создания батиметрической карты по данным измерений ультразвуковым гидролокатором является точное позиционирование судна. На НИС «Полярштерн» для этих целей используется D-GPS Real Time, что обеспечивает точность позиционирования в Антарктике до 10-15м, , что является важнейшей предпосылкой для создания точной батиметрической карты по данным измерений ультразвуковым гидролокатором.

Результаты измерений, проведенные за время рейса ANT-XXIII/4, внесли свой определенный вклад в общемировое морское картографирование в рамках GEBCO-проекта, обеспечив обновленными данными о батиметрии морского дна. Результаты геодезических измерений большей частью используются в различных интернациональных исследовательских и картографических проектах, а также как базовые данные для других научных дисциплин. Так, например, данные о дрефте и топографической высоте шельфового льда используют для определения и расчета объемов морского льда в Антарктике.

Составление предварительных батиметрических карт проводилось в течение нескольких этапов.

На последующем этапе обработка данных проводилась в программе GMT (Generic Mapping Tool), где вычислялась модель рельефа поверхности, из которой затем экспортировались изолинии в ArcGIS для последующего составления карт. Результат сравнивался с имеющимися изолиниями (из прежде полученных данных) и с

Многолучевые эхолоты имеют режим визуализации в реальном масштабе времени, который может быть использован как для контроля качества данных, так и для калибровки системы. Полный диапазон измеряемых глубин многолучевыми эхолотами **Kongsberg** охватывает все водные глубины (от 0.5 метров до полной океанской глубины). Все многолучевые эхолоты могут использовать программное обеспечение для выполнения съемки рельефа дна, а также специально разработанное программное обеспечение для пост-обработки.

#### 4.1. Сонарная система эхолотирования Hydrosweep DS System

Система Hydrosweep DS System разработана компанией Круп Атлас Электроник, ФРГ, Бремен. Название ATLAS HYDROSWEEP происходит из сокращения от "HYDROgraphic Multi-Beam SWEEPing Survey Echosounder". Оборудование используется для проведения гидрографических как в районах шельфа, так и в глубоководной зоне.

Визуализация и запись отснятых морфологических структур осуществляются как в видео-режиме, так в виде изолинии на статических картах. Для постэкспедиционной обработки данных используют 2 магнитные ленты для хранения координат, глубин и отснятых данных. В дополнение, разработан серийный интерфейс для трансляции измеренных данных в режиме real time для последующей компьютерной обработки.

Программное обеспечение ATLAS HYDROSWEEP принадлежит серии многолучевых систем акустических гидролокаторов с большой амплитудой луча, в 90 перпендикулярно к оси движения судна. Т. е., можно проводить измерения до 59 значений глубин за один промер луча. Покрытие съемки при этом составляет удвоенное значение глубины по вертикали в данной точке промера, если принять дно океана за исходный уровень.

Особенность ATLAS HYDROSWEEP заключается в том, что значения глубин могут быть измерены параллельно оси движения судна, что получило название «метод калибровки». Посредством этого калибровочного метода, средняя скорость сигнала устанавливается выше толщи воды, компенсируя при этом эффект рефракции сигнала при отклонении направления. Функции передачи и приема сигнала в системе меняются между двумя гидроакустическими датчиками.

Сонарная система HYDROSWEEP состоит из следующих частей:

- 2 набора гидроакустических датчиков SW-6050-A-001. Они состоят из нескольких отдельных модулей и установлены в "Т" конфигурацию.
- Электронный приемопередатчик, установленный в трех камерах SH-6020-A-001, SH-6020-A-003 and GE-6012.
- Цветной дисплей BD-6002, на котором демонстрируются текущие измерения, как в виде профилей измерений, так и в виде слоев с контурами. Процедуры обработки и ввода параметров осуществляются через функциональную и буквенно-цифровую клавиатуру. Демонстрация цифровых данных происходит на терминальном дисплее.
- Картографический регистратор PT-8 и принтер, который автоматически распечатывает карты морфологии дна в изолиниях (по заданным ему параметрам).
- 2 магнитные ленты, присоединенные к компьютеру, GE-6017 и GE-6018, записывающие измеренные параметры, значения глубин и координат.
- Устройство дисплея AZ-6043 (альтернативно), который работает как вспомогательный для цветного дисплея на контрольной консоли.

Внешний интерфейс обеспечивает обмен данными и информацией между HYDROSWEEP и другим программным обеспечением и оборудованием, т.е. производит экспорт/импорт данных. Кроме информации об измеренных глубинах дна система HYDROSWEEP выдает также следующую информацию:

- Точные координаты позиционирования судна по счетчикам GPS – систем на борту
- Значения угла направления курса, получаемое от гиро-компаса или сенсорной платформы.



- Скорость луча, перпендикулярная и параллельная к оси движения судна.
- Угол крена, килевой качки и уровень вертикальных движений судна на волне, взятые с сенсорных платформ.
- Информация о скорости звука, получаемая от сенсоров, для получения скорости звука, приходящего к датчику.

Наряду с измеренными значениями глубин, эти данные также хранятся на магнитных лентах или вычисляются при on-line обработке изолиний для распечатки на плоттер.

## 4.2. Программа обработки батиметрических данных Caris HIPS

Программа Caris HIPS - наиболее профессиональная и признанная во всем мире программа для составления лоцманских карт на основе данных промера; это многофункциональный инструмент для обработки батиметрических данных, обеспечивающая также создание векторных карт на базе отснятых измерений. Caris HIPS обрабатывает исходные данные, полученные на борту корабля, доводя их до уровня лоцманских и батиметрических карт. Программа поддерживает более 40 рабочих стандартов и форматов сонарных данных, чем облегчается их установка на борту практически любого НИС. В России его использует две головные организации по составлению лоцманских карт - Государственное гидрографическое предприятие (ГП) и Главное управления навигации и океанографии (ГУНиО) МО РФ.

Обработка эходанных различных типов акустических гидролокаторов HIPS Professional обеспечивает осуществление полной последовательности батиметрической обработки данных, включая визуализацию, просмотр, корректировку эходанных и изготовление карт на их основе, а также обработку эходанных различных типов акустических гидролокаторов.

Основная характеристика сонарной системы Atlas Hydrosweep DS-2 – расширенный покрывающий угол в 120° (долгое время применялось покрытие размером в 100°), что отражается в глубоком профиле сделанных на нем измерений. В ходе работ были получены глубинные измерения акустическим сигналом. Сигнал создается датчиком, прикрепляющимся к основному корпусу корабля, и имеет частоту 15,5 КГц, что позволяет проводить измерения вплоть до самых глубин океана.

## Глава 5. Методология и технологическая цепочка работ

Составление предварительных батиметрических карт проводилось в течение нескольких этапов, технологическая схема которых заключается в следующем.

### 5.1. Hydrosweep DS

Для коррекционных поправок на уклон створа внешних сонарных лучей использовался расчет и прорисовка CTD-профилей (сокращение от англ. conductivity, temperature, density), собранных за время экспедиции. На тех участках пути, где информации о свойствах воды было недостаточно, применялась автоматическая калибровка, которая генерирует отдельный ряд измерений (т.н. swath), в направлении оси движения судна и прилаживает вертикальное расположение внешних лучей эхолота наложением на предыдущие центральные эхолучи для расчета средней скорости излучаемого сигнала в

толще воды.

Для привязки глубинных измерений к географической широте использовался GPS приемник, данные о пространственном положении судна, получаемые с системы Trimble MS GPS, установленной на борту, а также с лазерного гироскопа MINS.

После того, как многолучевая система была модернизирована HDBE (High Definition Bearing Estimation), уровень энергии излучаемого сигнала можно регулировать, так что он не превышает уровень, необходимый для достижения измерений высокой точности. На протяжении рейса многолучевой сонар использовался исключительно на уровне «Maximum Level», где максимальный уровень источника может быть вручную понижен до минимума, в зависимости от глубины дна и гидроакустических условий.

Наряду с управлением многолучевой сонарной системой и контролированием текущих измерений и процессов, важной частью работ была обработка данных. Постоянно было необходимо редактировать и исправлять ошибочные измерения глубин, вызванные гидроакустическими помехами, например, из-за морского льда, сильного волнения, или пересечения сигналов данного эхолота с сигналами других акустических систем. В целях обеспечения экологической безопасности многолучевая сонарная система выключалась в периоды, когда морские животные проходили близко от борта судна (ближе, чем 100м).

Основная характеристика сонарной системы Atlas Hydrosweep DS-2 – покрывающий угол в 120°, что отражается в глубоком профиле, который позволяют сделать измерения на нем. Долгое время применялось покрытие размером в 100°. В ходе работ были получены глубинные измерения акустическим сигналом. Сигнал создается датчиком, прикрепляющимся к основному корпусу корабля и имеет частоту 15,5 КГц, что позволяет проводить измерения вплоть до самых глубин океана.

Для коррекционных поправок на уклон створа внешних сонарных лучей в основном и спользовалось расчет и прорисовка CTD-профилей (сокращение от англ. conductivity, temperature, density), собранных за время этой экспедиции. На тех участках пути, где информации о свойствах воды было недостаточно, применялась автоматическая калибровка, которая генерирует отдельный ряд измерений (т.н. swath), в направлении оси движения судна и прилаживает вертикальное расположение внешних лучей эхолота наложением на предыдущие центральный эхолучи, для расета средней скорости излучаемого сигнала в толще воды.

Для привязки глубинных измерений к географической широте использовался GPS приемник, данные о пространственном положении судна, получаемые с системы Trimble MS GPS, установленной на борту, а также с лазерного гироскопа MINS. Для того, чтобы не тревожить морских обитателей, многолучевая сонарная система выключалась в периоды, когда они подплывали слишком близко к борту судна (ближе, чем 100м). После того, как многолучевая система была модернизирована HDBE (High Definition Bearing Estimation), уровень энергии излучаемого сигнала можно регулировать, так что он не превышает уровень, необходимый для достижения измерений высокой точности. На протяжении рейса многолучевой сонар использовался исключительно на уровне «Maximum Level», где максимальный уровень источника может быть вручную понижен до минимума, в зависимости от глубины дна и гидроакустических условий.

Наряду с управлением многолучевой сонарной системой и контролированием текущих измерений и процессов, важной частью работ была обработка данных. Постоянно было необходимо редактировать и исправлять ошибочные измерения глубин, вызванные гидроакустическими помехами, например, из-за морского льда, сильного волнения, или

пересечения сигналов данного эхолота с сигналами других акустических систем.

## 5.2. Caris Hips

В программе Caris Hips проводилось редактирование измеренных глубин, а также чистка профилей рельефа дна от т.н. «пиков», т.е. значений глубин, резко и во много раз отличающихся по абсолютному значению от всех соседних, т.е. явно фальшивых измерений. Далее, обработка данных включала в себя также импорт всех данных о навигации судна в базе данных ESRI - BatGIS, а также постоянное on-line отображение в ArcGIS маршрута всего рейса судна. Создание метаданных, описывающих набор дат на каждый галс, обеспечил архивацию данные и их хранение в обменных форматах.

Для построения 3-D моделей географическая система координат была переведена в метрическую с последующим пересчетом глубин. Для того, чтобы сделать данные о глубинах сравнимыми с предыдущими и последующими измерениями общая для всех измерений скорость отсылаемого сигнала была принята равной 1500мс. Для построения цифровых моделей географическая система координат была переведена в метрическую систему с последующим пересчетом глубин. Для того, чтобы сделать данные о глубинах сравнимыми с предыдущими и последующими измерениями общая для всех измерений скорость отсылаемого сигнала была принята равной 1500мс.

Для интерпретации топографии морского дна на основании отредактированных данных были рассчитаны цифровые модели рельефа дна (ЦМР) и отражены в предварительных батиметрических картах с использованием программного обеспечения Generic Mapping Tool (GMT) и ESRI ArcGIS, рассмотренных далее.

## 5.3. GMT (Generic Mapping Tool)

На последующем этапе обработка данных проводилась в программе GMT (Generic Mapping Tool) по установленной схеме, где вычислялась модель рельефа поверхности, из которой затем экспортировались изолинии в ArcGIS для последующего составления карт. Результат сравнивался с имеющимися изолиниями (из прежде полученных данных).

Автоматическое построение цифровой модели рельефа и загрузка полученной сетки с координатами и глубинами осуществлялись по существующему скрипту в программе GMT `../gmt/gridding/ gridding_surflin.gmt`

На картах рельефа дна, созданных по полученным ЦМР (частота точек с глубинами до 50 метров в водах средней глубины), были составлены карты с ранжированием глубин, оконтуренными по контрастным цветам (масштабы до 1: 100000), а также нанесена дополнительная информация (например, уточненный рисунок береговых линий, поверхности покрытия моря морским льдом, отображены пунсонами точки отбора био-, гидро- и геологических проб).

## 5.4. Arc GIS

Блок работы в Arc GIS проводился в полном соответствии с установленными указаниями (см. Приложение 3, Guide for rawinh up an arcinfo map for the Polarstern' expeditions).

Схема работы в ArcGIS заключалась в следующих

технологических этапах:

1. перевод исходного файла в модуль установки проекции. В модуле ArcToolBox - Coverage Tools - Conversion – to coverage –generate; input\*.gen, output ./arcgis/yymmdd\_hh, projection geo.prj.
2. определение проекции Coverage Tools - Data Management –Projections – Define Projection.
3. перевод проекции в условную, принятую для всех экспедиционных карт: project – input ./arcgis/yymmdd\_hh; input 2./arcgis /yymmdd\_hhant , projection geo2ant.
4. загрузка файла с исправленной проекцией ./arcgis /yymmdd\_hhant из каталога ant23-4/ Arcinfo/BatGISTemp для дальнейшей работы
5. загрузка данных в ArcMap для работы в режиме редактора в ArcMap Editor.
6. визуализация в ArcMap текущей линии траектории движения судна, обновляющейся каждые 4 часа, и его актуальные координаты.
7. в каталоге daten\_hipsexport загрузка текстового файла refo4koorttransform[HIPS-Export-Name].txt для установки в ArcGIS координатной системы Меркатора. Изменение координатной системы происходит на станции ArcINFO автоматически благодаря написанному скрипту, после чего файл сохраняется с названием \*\_merc.txt.
8. загрузка файла на платформе ArcINFO файла ASCII
9. импорт и загрузка в программе ArcCatalog полученных грид-файлов с сеткой координат и глубин.

Используя модуль ArcGIS'a ArcScene, для наглядности были составлены несколько виртуальных полетов над уровнем морского дна, приготовленные для регионов, представляющих особый интерес. Эти трехмерные, наглядные визуализации облегчают интерпретацию морфологии рельефа дна и поддерживают междисциплинарные работы.

На составленных рабочих картах рельефа дна, созданных по полученным ЦМР (частота точек с глубинами до 50 метров в водах средней глубины), были ранжированы глубины, оконтуренные по контрастным цветам (масштабы до 1: 100000), а также нанесена дополнительная информация (например, уточненный рисунок береговых линий, поверхности покрытия моря морским льдом, отображены пунсонами точки отбора био-, гидро- и геологических проб).

## **Глава 6. Результаты съемки**

### **6.1. О. Петра I**

Систематические батиметрические измерения, проведенные примерно за 32 часа, были добавлены к уже существующим данным об острове Петра I (69° ю.ш., 90°30' в.д.).

Набор данных (с площадью приблизительно в 4500км<sup>2</sup> и диапазоном глубин от 100 до 4200м), отражающий топографию подводного склона этого вулканического острова, является компиляцией данных, собранных из 4-х научных круизов на НИС «Полярштерн» за 1994, 2001 и 2006г.г.

### **6.2. Безымянный хребет**

Этот маленький хребет был закартирован тремя сериями измерений приблизительно 240 км к северу от о.Петра I (66°50' ю.ш., 91° в.д.). Маленький хребет был открыт на предыдущем сейсмическом профиле и его морфология неизвестна и до сих пор.

Меридиональная ориентация хребта составляет примерно 31 км длины и 2-5 км ширины. Высота его примерно 950 м над окружающей поверхностью дна с глубинами примерно 4600м. Склоны хребта имеют наклон 40°; хребет имеет 3 вершины, наибольшая из которых – крайняя к югу.

### **6.3. Подводные горы Жерлаша (Герлаша)**

На западных подводных горах Де Герлаш (65° ю.ш., 93° в.д.) 2 многолучевых профиля были добавлены к уже существующим батиметрическим данным, которые были получены за время съемок на НИС «Полярштерн» ((экспедиция ANT-XII/4, 1995г.) 2 новых профиля, пересекающих вершину подводных гор в северо-восточном и северо-западном направлениях достигают длины 60 км и имеют глубины от 4700м на прилегающем ложе океана до 300 м на наивысшей точке подводных гор.

### **6.4. Батиметрическая съемка в бухте моря Амундсена**

В бухте моря Амундсена в дополнение к батиметрическим измерениям в течение сейсмических съемок и работ на научных станциях были проведены 2 основные систематические измерения рельефа дна. Еще несколько небольших съемок были проведены к востоку от п-ова Медвежий (74°30' ю.ш., 110° в.д), где были закартографированы части желоба к морю от ледника Кроссон с глубинами более, чем 1300м. Новые батиметрические данные были добавлены к уже существующим данным на акватории бухты о-ва Пайн, базирующимся в основном на данных съемок НИС «Палмер», проведенных в 1999 и 2000г.

### **6.5. Ледниковое протяжение к востоку от ледника Аббота**

Проведенная съемка акватории полосой в 800 км<sup>2</sup>у входа в залив, к западу от ледника Аббот (71°50' ю.ш., 104°20' в.д), показывает крупномасштабные ледниковые протяженности, следы прохождения придонного льда по поверхности дна. На глубинах между 550 и 750 м были зафиксированы четыре выдающихся отдельных простирания с направлениями между 2, 10, 25 и 35 м, максимальная длина – 24 км, глубины приблизительно 25 м и шириной около 600 м, а также несколько менее значимых протяженностей, простирающихся в том же направлении.

Основываясь на морфологии отдельных исследованных участков морского дна хребта, был получен относительный возраст простирания: с изменением общей направленности на северо-восточное возраст хребта становится меньше, в то время как в наиболее глубоких участках не видно следов эрозионного воздействия ледника, они наиболее распространены на более мелких глубинах (менее 650м).

### **6.6. Желоб на подводном береговом склоне у ледника Гетц**

Желоб на подводном береговом склоне у центральной части ледника Гетц (74° ю.ш., 118° в.д.), площадью около 3000км<sup>2</sup>, был откартирован приблизительно за 36 часов систематической многолучевой съемки, в дополнение к всего лишь одной отснятой линии, выполненной НИС «Палмер» в 2000г. Суммарно в районе ледника было проведено 3 дня и район покрыт подробными измерениями, 1,5 из которых были использованы исключительно для картографирования трога ледника. В оставшееся время были проведены сейсмические измерения и стационарные геологические и биологические работы на станциях и отснята одна из полыней в море Амундсена.

Исследованная область состыкуется с районом, отснятым на НИС «Джеймс Кларк

Росс» Британской Антарктической Службой в 2006г. Основываясь на морфологии желоб грубо приближенно может быть разделен на 2 части, где ложе океанского дна было сформировано придонными «царапаниями» льда по дну океана, а также талыми водами. Первая часть, прямо напротив ледника, характеризуется очень грубой морфологией с глубинами, изменяющимися в пределах от 700 до 1600м. Вторая часть в северно-восточной части желоба характеризуется заметными ледниковыми простираниями, ориентированными в северо-восточном направлении, а также глубинами от 800 до 1100м.

Результатом съемки на леднике Гетц является практически завершенное картографирование поверхности дна района, отличающегося очень интересной морфологией дна в результате длительного воздействия ледника, в т.ч. «выпахивания» трогом. В общей сложности отснятая область занимает около 3000км.кв и достигает глубин от 200 до 1600м.

Трудности работы в этом районе заключались в практически постоянном сплошном покрытии поверхности акватории паковыми льдами.

В результате, работы были прекращены на несколько дней и возобновлены с 11.03, когда ледоколу удалось пробить выход из пакового льда в залив о.Пайн. Практически постоянно в этом районе движения судна было крайне затруднено из-за сплошного покрытия паковым льдом. В такие периоды вынужденных стоянок были проделаны камеральные работы: более подробное картографирование на основе предыдущих измерений, обработка собранных морских и наземных материалов биологами и т. д.

С помощью функции Arc Scene были созданы обзорные виртуальные 3-D модели местности (троги ледника Гетц), которые служили скорее для визуальной, наглядной демонстрации, чем для научно-практических целей. Кроме этого, за время работы в районе ледника Гетц были отсняты несколько профилей ледниковых трогов, спускающихся к морю от п-ова Медвежий (Bear Peninsula).

### **6.7. О.Пайн (Pine Island)**

В районе о.Пайн акватория моря была практически постоянно покрыта паковыми льдами, что крайне затрудняло работу и не позволяло проводить систематические измерения. Поэтому на район были составлены всего лишь 2 сейсмических профиля и нескольких отборов геологических проб. Работы в районе о.Пайн проводились до 18.03, где были установлены несколько станций и проведены отдельные измерения. Средние глубины района не превышали 100 м, минимальная зафиксированная 37,5м, в связи с чем режим работы эхолота был переведен на шельфовый. Подробная драгировка и регулярная батиметрическая съемка рельефа дна возобновились лишь по прибытии в район Земли Мэри Бёрд

### **6.8. Подводные горы Мэри Бёрд (Marie Byrd)**

Острова Мэри Бёрд, расположенные к востоку от моря Росса и сложенные раннепалеозойскими осадочными породами, сложно дислоцированными, метаморфизованными в фации. Тектоническая активность подводных гор наиболее интенсивно проявилась от середины юры до середины мела, сопровождавшаяся вулканической деятельностью, в результате которой сформировалась вулканогенная платобазальтовая толща. В плиоцене и плейстоцене эта часть окраины Антарктиды была разбита разломами на блоки, испытавшие поднятие. В строении Земли Мэри Бёрд участвуют сложно смятые метаморфические породы палеозоя и мела, граниты среднего мела и кайнозойские вулканы, представляя собой континентальную часть коры.

С 25.03.2006 по 02.04.2006 в районе Земли Мэри Бёрд проводилось драгирование. В западном направлении от г.Смита-Сандвелла был отснят подводный хребет двумя параллельными профилями съемки. Далее работы проводились в районе подводной горы №6 с координатами 69° 50'S / 126 ° W.

За это время была отснята восточная часть горы Смита-Сандвелла этой области Земли Мэри Бёрд, до этого времени никогда подробно не картографировавшейся.

Для геологической интерпретации района и последующего геологического картографирования крайне важным является наличие подробных данных о морфологии и рельефе морского дна, поэтому данный район был покрыт максимально подробными съемками.

После сравнения результатов съемки, выполненных в двух режимах работы системы Hydrosweep DS – “Hardbeam” и “Softbeam” - и подробного морфологического анализа полученных карт рельефа дна было определено, что оптимальным режимом работы для составления карт рельефа дна является режим получения данных “Hardbeam” как более подробно передающий особенности морфологического строения дна. При использовании покрытия луча съемки в 120° (Transmitter/Receiver=120°) съемка местности менее качественна и по краям полосы измерений наблюдаются большие погрешности, в связи с чем в дальнейшем использовался исключительно режим работы с углом охвата луча 90° (Transmitter/Receiver=90°).

В районе южных островов Мэри Бёрд, где, по предыдущим батиметрическим данным, полученным по обработке спутниковых данных и данных многолучевого сонара, была показана подводная гора довольно крупных размеров (71° ю.ш., 122°30' в.д). В ходе дальнейших работ был закартографирован одиночный хребет, простирающийся с северо-запада в юго-восточном направлении (70°40' ю.ш., 122°30' в.д) с двумя перекрывающимися профилями.

Юго-восточная подводная гора с координатами (69°35' ю.ш., 124°45' в.д), которая никогда не была прежде показана на картах, была отснята примерно за 16 часов. Простираясь от северо-запада к юго-востоку, гора имеет плоскую вершину и расположена на глубине 1200 м, крутые склоны, достигающие океанического ложа на глубине 3400м и множество вулканических конусов с высотами приблизительно 200м.

Подводная гора с координатами 69°35' ю.ш., 124°45' в.д, которая была частично закартографирована прежде, во время экспедиции НИС «Палмер» в 1996г., была пересечена по линии к северу от существующего профиля, чтобы дополнить исходный набор батиметрических данных. Подводная гора с координатами 69°05' ю.ш., 123°30' в.д, которая была полностью отснята в 1996 рейсом НИС «Палмер», была пересечена по линии вдоль южного склона.

### **6.9. Гора Хьюберта Миллера**

Гора Хуберта Миллера (69°15' ю.ш., 121°30' в.д), которая была частично отснята на рейсе НИС «Полярштерн» в 2001г., была пересечена по линии маршрута вдоль южного склона, и добавила новую батиметрическую информацию к существующему набору данных. Также была заново отснята подводная гора с координатами 69°12' ю.ш., 117°30' в.д , которая была обнаружена прежде во время рейса НИС «Полярштерн» в 2001г.

### **6.10. Глубокий морской канал в море Амундсена**

В дополнение к батиметрическим съемкам, проведенным НИС «Полярштерн» в 1994г., была полностью закартографирована система глубоководных каналов. Данная система каналов состоит из 3-х каналов в глубинах вод до 3000 м югу от подводных гор с высотами порядка 500 м, где наибольший канал имеет длину 28 км, глубину 50 м и ширину 2.5 км. Все каналы простираются в северо-восточном направлении и впадают в один и тот же «водосборный» бассейн.

#### **6.11. Остров Короля Георга**

В дополнение к предыдущим измерениям, проведенным НИС «Полярштерн», районы залива Максвелла и небольшой бухты Поттер были откартированы за 1 день систематических наблюдений и работы на станциях. В итоге была покрыта съемкой акватория порядка 50 км<sup>2</sup>, имеющая диапазон глубин между 50 и 500 м, включая остров Короля Георга, находящийся между антарктическим полуостровом и оконечностью Южной Америки.

#### **Заключение**

Результаты измерений, проведенные за время рейса ANT-XXIII/4, внесли вклад в общемировое морское картографирование в рамках GEBCO-проекта, обеспечив обновленными данными о батиметрии морского дна.

Результаты геодезических измерений используются в различных интернациональных исследовательских и картографических проектах, а также как базовые данные для других научных дисциплин. Так, например, данные о дрефте и топографической высоте шельфового льда используют для определения и расчета объемов морского льда в Антарктике.